

Utilização de Bioindicadores em Monitoramento de Poluição

Erica Sayuri Maki¹, Ricardo Shitsuka², Carlos Henriques Barroqueiro³, Dorlivete Moreira Shitsuka⁴

1. Bióloga pela UNIFESP. Pós-graduada em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Claretiano (CEUCLAR). Endereço: Rua Martin Francisco, 604 – B. Santa Cecília – São Paulo/SP, Brasil. Contato: ericasmaki@hotmail.com
2. Cirurgião Dentista. Mestre em Engenharia. Doutor em Ensino de Ciências, professor adjunto na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI/Itabira. Endereço: Rua São Paulo, 377 – ITEC – 35900-373 – Itabira/MG, Brasil. Contato: ricardoshitsuka@unifei.edu.br.
3. Doutor em Ensino de Ciências atuando no Instituto Federal de São Paulo – IFSP. Endereço: Rua Amaral Gama, 349 ap.61 – São Paulo/SP, Brasil. Contato: carhenbar@hotmail.com
4. Mestre em Ensino de Ciências. Professora no Centro Universitário Claretiano – CEUCLAR. Endereço: Rua Major Sertório, 377 ap.2B – V. Buarque – 01222-001 – São Paulo/SP, Brasil. Contato: dorlivete@uol.com.br

RESUMO. A poluição atmosférica é um dos problemas ambientais da humanidade e acende a preocupação com a sustentabilidade. Esse problema tem se agravado e provocado efeitos prejudiciais ao ambiente e à saúde da população. Como a poluição não pode ser completamente eliminada é preciso de seja monitorada. Os bioindicadores estão entre os métodos de medição de qualidade ambiental. Eles podem indicar a presença de poluentes atmosféricos tais como os compostos orgânicos de carbono, enxofre, halogenados, nitrogênio e material particulado. O objetivo deste estudo é apresentar uma revisão bibliográfica dos trabalhos disponíveis envolvendo bioindicadores vegetais no biomonitoramento da poluição atmosférica, de modo a realizar o levantamento das espécies utilizadas como bioindicadores, os meios de detecção dos poluentes e as técnicas utilizadas. Foram relacionadas 19 espécies nos 27 estudos, sendo que 16 espécies pertencentes à Divisão *Angiospermae*, 1 gênero à divisão *Bryophyta*, e 2 espécies de *Líquens*. Os resultados obtidos apontam para uma grande diversidade de espécies, mostrando que há potencial de aplicação desses em biomonitoramento.

Palavras-chave: Bioindicadores vegetais, Poluição atmosférica, Biomonitoramento.

ABSTRACT: Use of Bioindicators for Monitoring Pollution. Air pollution is one of the environmental problems of humanity and sparks concern on sustainability. This problem has worsened and caused harmful effects to the environment and people's health. As pollution can not be completely eliminated, it is necessary to be monitored. The bioindicators are amongst the methods of measuring environmental quality. They may indicate the presence of air pollutants such as compounds of carbon, sulfur, halogen, nitrogen and particulate matter. The aim of this study is to present a review of articles involving bioindicators in biomonitoring of air pollution. In order to carry out the survey of the species used as bioindicators, ways for detecting pollutants and their techniques. There were listed 19 species in 27 studies, with 16 species belonging to the Division *Angiospermae*, one genere to *Bryophyta*, and 2 species of *lichens*. The results point to a great diversity of species, showing that there is potential for application of biomonitoring.

Keywords: Vegetal bioindicators, Air pollution, Biomonitoring.

1. Introdução

Os seres humanos, em geral, vivem na crosta terrestre que é envolvida pela troposfera que é a camada da atmosfera que respiramos. Essa é composta por oxigênio (O₂) – 20,95%, a atmosfera terrestre contém outros gases, tais como Nitrogênio (N₂) – 78,11%, Argônio (Ar) – 0,934% e Gás carbônico (CO₂) – 0,033%. Há tem menor quantidade: neônio, hélio, criptônio, xenônio, hidrogênio, metano, ozônio e dióxido de nitrogênio, vapor de água e

material particulado orgânico como é o caso de polens, micro-organismos e material inorgânico o qual é formado por partículas de areia e fuligem (BRAGA, 2005).

A troposfera terrestre é a camada de gases que envolve o meio onde vivem as pessoas. Devido à ação do homem no meio ambiente, principalmente por meio das indústrias, é frequente a ocorrência de poluição atmosférica muitas vezes com elementos ou materiais que podem ser ruins ao meio ambiente e à saúde

humana.

A poluição do ar acompanha a humanidade desde os tempos remotos. No entanto, passou a ser mais acentuada quando as pessoas começaram a viver em assentamentos urbanos de grande densidade demográfica, em consequência da Revolução Industrial, a partir de quando o carvão mineral começou a ser utilizado como fonte de energia. Com o uso do petróleo e de combustíveis fósseis no século XX, houve um aumento crescente na contaminação atmosférica (PHILIPPI, 2004).

Existe a poluição principalmente nos grandes centros ou nas regiões nas quais existe a concentração de indústrias poluentes como é o caso das siderúrgicas, das indústrias de cimento, papel e petroquímicas.

Atualmente, há a preocupação crescente com as questões ambientais e estas se mostram relevantes. Um exemplo disso é que se estima que existam 3,5 milhões de mortes prematuras causadas todo ano pela poluição do ar doméstico, e 3,3 milhões de mortes todo ano causadas pela poluição atmosférica (ONU-BR, 2013).

A quantidade de pessoas afetada pela poluição atmosférica é grande e torna-se necessário estudar, identificar, encontrar meio de se acompanhar e controlar a poluição e minimizar os efeitos das mesmas. Este trabalho é muito grande mas necessário. O biomonitoramento é uma das formas importantes de se acompanhar a evolução da poluição atmosférica.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica dos trabalhos disponíveis envolvendo bioindicadores vegetais no biomonitoramento da poluição atmosférica, de modo a realizar o levantamento das espécies utilizadas como indicadores biológicos, os meios de detecção dos poluentes e as técnicas utilizadas.

Nas linhas seguintes aborda-se a classificação dos poluentes atmosféricos, os bioindicadores vegetais, a metodologia do trabalho, as considerações finais e a referência bibliográfica.

Classificação dos poluentes atmosféricos

Quando uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos em seres humanos, em animais, em vegetais ou em materiais está presente no ar, ocorre a poluição. As concentrações dependem do clima, topografia, densidade populacional, nível e tipo de indústrias locais (BRAGA, 2005).

Os poluentes (Ps) podem ser classificados em primários e secundários. Ps primários são lançados no ar, como é o caso do dióxido de enxofre (SO₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de Carbono (CO₂) e metano (CH₄) e alguns particulados como poeira. Os secundários são aqueles formados na atmosfera por meio de reações que ocorrem em razão da presença de certas substâncias químicas e de determinadas condições físicas. Destacam-se o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o ácido sulfúrico (H₂SO₄), o ácido nítrico (HNO₃), o trióxido de enxofre (SO₃), os nitratos (NO₃⁻), os sulfatos (SO₄²⁻), o ozônio (O₃) e o nitrato de peroxiacetila – PAN – (CH₃ = OO₂NO₂), sendo que os dois últimos estão entre os mais prejudiciais às pessoas e à vegetação porque formam radicais livres (superóxidos, hidroxilas, dentre outros) que atacam os seres vivos. Há ainda hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis (COVs), mercúrio (Hg), e material particulado (MP), que corresponde às partículas em suspensão com diâmetro menor que 50µm. Estas partículas podem conter elementos tóxicos como o arsênio (As), o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) e aerossóis emitidos pela combustão (FREEDMAN, 1995).

A categorização dos poluentes possibilita que as pessoas envolvidas com os mesmos possam lidar melhor com as formas de lidar com a detecção e identificação dos mesmos e o trabalho posterior de busca e adoção das contramedidas possíveis de se aplicar a cada caso para minimizar os problemas causados pelos poluentes.

Bioindicadores vegetais

Bioindicadores são seres de natureza diversa que podem ser utilizados para avaliação da

qualidade ambiental. São utilizados de maneira ativa expondo-se espécies previamente preparadas no ambiente cuja qualidade será avaliada ou de forma passiva, quando se faz a avaliação dos seres que habitam a área de estudo.

Há vantagens quando se aplica bioindicadores em relação aos métodos convencionais de avaliação da qualidade ambiental devido ao baixo custo, podendo, inclusive, serem utilizados para avaliação cumulativa de eventos ocorridos num determinado período de tempo, resgatando um histórico ambiental não passível de detecção ou medição por outros métodos (FIALHO, 2002). Além disso, permitem a ausência, em geral, de aparelhagem sofisticada de medição; viabilidade de se avaliar elementos químicos presentes em baixas concentrações no ambiente em estudo e eficiência no monitoramento de áreas amplas

(CARNEIRO, 2004).

O uso de bioindicadores é adequado para a detecção de efeitos de poluentes atmosféricos sobre organismos. Porém, o emprego de bioindicadores não pretende e não consegue substituir medições de concentrações ambientais de poluentes pelo uso de métodos físico-químicos, mas fornece informações adicionais referentes a efeitos sobre organismos vivos (KLUMPP, 2001).

Os indicadores biológicos são importantes mas não podem realizar sozinhos a caracterização da poluição, pois os mesmos servem para indicar a presença do poluente mas não faz a quantificação do mesmo.

As plantas bioindicadoras são classificadas em quatro grandes grupos a partir das quais se realizou a organização da informação apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. Classificação das plantas bioindicadoras (CARDOSO, 2004, PEDROSO, 2007).

TIPO	CARACTERÍSTICA
Bioindicadoras	Apresentam sintomas visíveis como necroses, cloroses e distúrbios fisiológicos como redução no crescimento, redução no número e diâmetro das flores.
Biosensoras	Reagem aos efeitos dos poluentes com efeitos não visíveis, apresentando alterações bioquímicas, fisiológicas e celulares.
Bioarticuladoras	São as plantas que também não apresentam sintomas visíveis, sendo menos sensíveis aos poluentes, porém, dentro dos seus tecidos podem acumular poeira e gases.
Biointegradoras	Indica o impacto da poluição por meio de mudanças populacionais como aparecimento, desaparecimento ou mudança na densidade da população ao até de comunidades. Dentre os organismos bioindicadores, destacam-se os líquens, os musgos e as plantas superiores que têm sido amplamente empregados como métodos complementares de monitoramento da qualidade do ar e da presença de poluentes.

Algumas das plantas mais simples são os líquens. Estes são associações simbióticas entre algas ou cianobactérias (fotossimbiontes) e fungos (micobiontes), sendo que as algas realizam a fotossíntese e produzem carboidratos para uso próprio e para os fungos. Já os fungos fornecem uma proteção física e suplemento de água e minerais para a associação (MOURA, 2012).

Líquens apresentam simplicidade e para sobrevivência dos mesmos, é fator crucial a pureza do ar atmosférico, já que eles se alimentam higroscopicamente, fixando elementos neles presentes, notadamente o nitrogênio.

Os líquens absorvem e retêm elementos

radioativos, íons metálicos, dentre outros poluentes, e isto faz com que sejam utilizados como indicadores biológicos de poluição atmosférica (GONÇALVES, 2007).

Essas características podem ser verificadas no trabalho com este tipo de bioindicador. Existem outros grupos importantes como é o caso das briófitas. Estas e as pteridófitas são vegetais mais simples e não uma associação de organismos.

Outros bioindicadores incluem as briófitas também são indicadores de poluição da água e do ar. São muito utilizadas por terem uma ampla distribuição geográfica e crescem em habitats diversos; por não possuírem epiderme e cutícula; por obterem nutrientes da

precipitação ou deposição de material seco sobre seu gametófito; por transportarem água e nutrientes com facilidade entre as células devido à falta de vasos lignificados e por acumularem metais de forma passiva (BORDIN, 2009).

Briófitas são plantas pequenas, geralmente com alguns poucos centímetros de altura, que vivem preferencialmente em locais úmidos e sombreados. Elas compreendem musgos, hepáticas e antóceros, ou seja, plantas que possuem um ciclo de vida marcado pela alternância de gerações (gametofítica e haplóide e esporofítica e diplóide), onde a geração gametofítica é dominante.

As plantas vasculares estão divididas em cinco divisões: *Cycadophyta*, *Ginkgophyta*, *Coniferophyta*, *Gnetophyta* e *Angiospermae*, sendo que as quatro primeiras faziam parte da *Gymnospermae*, que foi recentemente subdividida, caracterizada pela formação de sementes nuas. Já a *Angiospermae* engloba plantas que produzem sementes encerradas em ovário “formando frutos” sendo um dos maiores grupos de plantas, predominando na flora terrestre (CARNEIRO, 2004).

As plantas superiores são organismos eucarióticos, complexos geneticamente e são facilmente cultiváveis e mantidas para serem utilizadas nos estudos de toxicidade genética por isso são muito úteis como bioindicadoras (ALVES, 2001).

Observa-se que há uma gama grande de plantas que podem ser utilizadas a favor da indicação de existência de poluição e é interessante conhecer e fazer uso das mesmas.

2. Método

A pesquisa quantitativa é aquela que se preocupa com números, porcentagens e estatísticas. Ela pode ser de fonte direta quando se levantam dados diretamente no objeto de estudo ou indireta quando os dados sobre o objeto de estudo são provenientes de outros estudos (SEVERINO, 2007, LAKATOS; MARCONI, 2007).

O presente estudo é quantitativo de fonte indireta, na qual se faz o levantamento bibliográfico de forma sistemática e categorização dos trabalhos. Para reunir as informações fornecidas e divulgadas, realizou-se uma coleta de dados reunindo os conhecimentos relacionados à utilização de bioindicadores vegetais para monitoramento da poluição atmosférica no Brasil. Considerou-se os trabalhos disponíveis não sendo considerado o período da publicação. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave na pesquisa bibliográfica: bioindicadores vegetais; biomonitoramento; poluição atmosférica. Após o levantamento de dados, os resultados foram analisados e discutidos, verificando-se quais as espécies foram mais utilizadas, quais as técnicas e quais os efeitos observados.

3. Resultado e discussão

Foram relacionadas 19 espécies nos 27 estudos incluídos neste presente trabalho, sendo que 16 espécies pertencentes à Divisão *Angiospermae*, 1 gênero à divisão *Bryophyta*, e 2 espécies de *Líquens* (além de espécies não identificadas) utilizadas em diversas situações climáticas e geológicas do Brasil. Os estudos incluíram dissertações, teses e artigos científicos. Quadro 2.

Planta	Tipo	Características
<p><i>Líquens</i></p> <p>Alguns estudos não indicaram as espécies utilizadas, porém, demonstram seu uso como biointegradores, indicando a porcentagem de líquens existentes (GONÇALVES, 2007; MOURA, 2012; PIQUÊ, 2005).</p>	<p><i>Cladonia verticillaris</i></p>	<p>Esta espécie foi usada para avaliação da qualidade do ar em Belo Jardim (PE), área caracterizada pela presença de indústrias de bateria e fundição. Os <i>líquens</i> foram dispostos em onze locais diferentes para avaliar a dispersão de poluentes e seus efeitos como o biomonitor por mais de oito meses. A análise foi realizada com técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência e microscopia eletrônica de varredura. <i>C. verticillaris</i> próximas as fontes de emissão mostraram alteração no seu metabolismo, diminuindo a produção do seu composto principal, ácido fumarprotocetrárico e deterioração das suas superfícies externas e internas e foi usado para a análise de metais em Pernambuco (FILHO, 2007, SILVA, 2002).</p>

	<i>Usnea sp</i>	A avaliação da concentração de dióxido de enxofre no ar de Santa Maria – RS foi realizada usando-se o líquen do gênero <i>Usnea</i> como biomarcador. Coletou-se extratos acompanhados de substratos em área sem influência de poluentes e expostos em pontos da cidade com intenso tráfego de veículos automotivos. O procedimento foi repetido nas quatro estações do ano e o teor de enxofre acumulado foi analisado pela técnica de turbidimetria. O gênero <i>Usnea</i> mostrou ser um bom monitor para dióxido de enxofre atmosférico (KEMERICH, 2011).
Briófitas	Gênero <i>Sphagnum</i>	Utilizou-se como biofiltro em forma de “moss-bag”, que consiste na exposição de saquinhos de nylon contendo os musgos, nas áreas a serem analisadas. Tal método foi utilizado por Henriques (2007) para a detecção de cádmio no ar atmosférico no município de Rio Grande – RS. Os níveis de cádmio foram medidos através de Espectrômetro de Absorção Atômica em forno de grafite. Observou-se elevados níveis de cádmio na atmosfera da área. Gutberlet (1989) utilizou <i>S. recurvum</i> para análise de metais pesados (Al, Fe, Ni, Zn) confirmando a capacidade de retenção de agentes contaminantes atmosféricos pelo musgo.
Angiospermas	<i>Byrsonima crassifolia</i> (murici)	Pertencente a família Malpigueaceae, demonstraram sintomas de toxidez ao flúor, como fluorose e lesões necróticas em folhas de plantas localizadas próximas a região fabril de alumínio no município de Barcarena/PA (PAULA et al, 2005).
	<i>Catharanthus roseus</i> (maria-sem-vergonha)	Esta planta da família Apocynaceae foi utilizada para caracterizar a distribuição espacial da concentração de poluentes ao redor de indústrias avaliando-se a toxicidade celular e acúmulo foliar. O abortamento polínico foi quantificado em microscópio óptico (400x) e o acúmulo de elementos traços foi avaliado em EDXRF (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence). Observou-se taxa maior de abortamento polínico quanto mais próximo da indústria e alta concentração de elementos – traço e dano celular (IOVINE, 2012).
	<i>Ceiba speciosa</i> (paineira)	Da família Malvaceae, foi estudada por Moreira (2010), utilizada como biomonitor de baixo custo em localizações privilegiadas. Suas folhas foram analisadas por fluorescência de Raio X de modo a conhecer os componentes inorgânicos. Apresentou maiores concentrações do elemento S (enxofre).
	<i>Jacaranda mimosifolia</i> (jacarandá)	As folhas do jacarandá (Bignoniaceae) foram analisadas por fluorescência de Raio X pra se conhecer os componentes inorgânicos presentes. Observou-se que esta planta absorveu mais o elemento Fe e o Cu, o que pode indicar que suas folhas são mais eficazes na retenção e absorção de partículas grandes devido ao tamanho de seu pecíolo e a área foliar (MOREIRA, 2010).
	<i>Lolium multiflorum</i> (azevém-italiano)	Pertencente a família Poaceae, esta espécie é uma gramínea bioindicadora de acumulação que apresenta tolerância frente à poluição atmosférica, sendo utilizada para avaliar a poluição em locais de grande concentração de enxofre. Estudos apontam que há redução de crescimento de <i>L. multiflorum</i> quando estes são submetidos a concentrações elevadas de SO ₂ e que acumulam enxofre na parte aérea das folhas (RODRIGUES, 2012). Nakazato (2011) testou a eficiência de <i>L. Multiflorum</i> entre outras espécies e verificou que esta se mostrava mais adequada para determinação dos riscos impostos por óxidos de nitrogênio, por ter indicado mais adequadamente as variações temporais e espaciais no nível de contaminação atmosférica.
	<i>Mangifera indica</i> (mangueira)	Pertence a família Anacardiaceae. A qualidade do ar na região metropolitana de Vitória, Guarapari e Bom Jesus da Lapa foi avaliada através da análise de folhas de doze amostras de mangueira de quatro locais de diferentes atividades antrópicas, a cada três

		meses durante 2010, sendo que a análise foi realizada utilizando um espectrômetro de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Um total de 15 elementos (Al, Ba, Ca, Cr, Cu, S, Zn, Sr, Fe, Mn, Mg, Ni, K, Na e Ti) foram detectados, sendo que todos os metais, exceto K (Potássio), mostraram uma alta concentração em comparação com os valores encontrados para níveis próximos ao fisiológico. Segundo Castro (2011), M. indica é um biomonitor eficiente para a presença de metais pesados. Para Almeida (2000), maiores teores de enxofre nas folhas indicam que M. indica são bioacumuladoras de enxofre, enquanto que o aumento no teor de prolina indica o desenvolvimento de mecanismos de defesa contra a ação de poluentes atmosféricos. Maior conteúdo de proteínas solúveis totais revela alterações no metabolismo desses vegetais em função das emissões atmosféricas e a diminuição do conteúdo de clorofila total mostra que os poluentes podem influenciar na degradação desses pigmentos.
	<i>Myracrodroun urundeuva</i> (aroeira)	Espécie da família Anacardiaceae, utilizada para verificar a variabilidade espacial dos elementos químicos presentes na Região da Fercal no D.Federal, em região próxima a Fábrica de Cimento. As cascas das árvores foram analisadas por meio da análise com Fluorescência de Raio – X e verificou-se as concentrações de Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sr e Ba. Observou-se que para a maioria dos elementos do segundo e terceiro componentes apresentam uma maior concentração próxima a fábrica, principalmente dos elementos Ca, Cu, Al, P, S, Sr, Zn e Ba que são elementos associados ao calcário e ao processo de fabricação do cimento (SANTOS, 2012).
	<i>Psidium guajava</i> (Paluma)	A espécie da família Myrtaceae apresenta injúrias foliares visíveis, alterações na fotossíntese e na concentração de ácido ascórbico total quando exposta ao O ₃ , sendo que as folhas mais velhas são as mais afetadas (MORAES, 2007).
	<i>Nicotiana tabacum</i> (tabaco)	Espécie da família <i>Solanaceae</i> , é um bioindicador de poluentes oxidantes, principalmente o ozônio troposférico, formado por reações fotoquímicas, a partir de precursores como os hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio emitidos nos processos de combustão. As plantas expostas a concentrações atmosféricas de ozônio consideradas fitotóxicas apresentam injúrias nas folhas e manchas amarelas. Outro efeito é a redução da produção da biomassa, ou seja, a redução do crescimento da vegetação (CETESB, 2002). Pedroso (2008) considera a variedade de tabaco conhecida cientificamente como <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 apresenta visivelmente mais espaços intercelulares, câmaras estomáticas maiores e estômatos ligeiramente salientes em ambas as superfícies foliares, o que podem explicar a facilidade de entrada e a difusão dos poluentes na folha, do ponto de vista estrutural.
	<i>Panicum maximum</i> (capim colônia)	Essa e outras espécies de importância econômica (<i>Coffea arabica</i> - café, <i>Citrus sinensis</i> – citrus e <i>Saccharum officinarum</i> - cana de açúcar) foram usadas por Fahl (2003) visando determinar a concentração de flúor acumulado nas folhas. O capim colônia, da família <i>Poaceae</i> , apresentou alta sensibilidade ao flúor presente na atmosfera, mostrando folhas com clorose distribuídas por todas as regiões da lâmina foliar e necrose, principalmente nos ápices e nas margens das folhas. Nessas condições, verificou-se através de análise estrutural de cortes de folhas, sensível redução do número de cloroplastos nas células do mesófilo. Plantas de café mostram maior tolerância ao flúor atmosférico, em relação ao capim colônia.
	<i>Phaseolus vulgaris</i> (feijão)	Pertencente a família <i>Fabaceae</i> , é uma espécie herbácea. Segundo Bujokas (2008), o ar atmosférico na fábrica Cimento Rio Branco

		S/A, localizada no município de Rio Branco do Sul, afetou o desenvolvimento de indivíduos de feijão. Estes se desenvolveram menos no crescimento em altura e na produção de massas fresca e seca, bem como na formação e produção de frutos. Dessa forma, acredita-se que a presente espécie pode ser utilizada para monitorar a qualidade do ar em ambientes industriais semelhantes, detectando poeira de cimento.
	<i>Prosopis juliflora</i> (algaroba)	O material vegetal foliar dessa espécie de Fabaceae arbórea foi estudado por Silva (2011) na cidade de Patos-PB. Os teores de teores dos elementos químicos S, Fe, Zn e C foram avaliados indicando uma influência relevante da queima de combustíveis fósseis por veículos automotores no aumento dos teores desses elementos, principalmente S, na atmosfera dos grandes centros urbanos. A algaroba se destacou como acumulador de S e Fe.
	<i>Tibouchina pulchra</i> (manacá-da-serra)	Pertencente à família <i>Melastomataceae</i> , apresentaram em média maiores teores foliares de nitrogênio e menores compostos fenólicos totais, taninos, ligninas e fibras em áreas poluídas. Observou-se maior porcentagem de área foliar perdida por herbivoria o que poderia estar relacionado ao efeito da poluição (FURLAN, 1998).
	<i>Tillandsia usneoides</i> (barba-de-bode)	Esta espécie é uma Bromeliaceae que absorve água e nutrientes diretamente do ambiente, sem apresentar raízes, absorvendo água e nutrientes diretamente do ambiente. Devido a essas características esta espécie acumula os poluentes presentes na atmosfera. <i>T. usneoides</i> foi usada como biomonitor de poluição atmosférica por metais em São Paulo. As amostras foram expostas em locais com diferentes níveis de poluição. Os metais foram analisados na planta por análise por ativação com nêutrons e por ICP-MS. Observou-se uma concentração notável de Co e Ni nas plantas expostas em área industrial. Cobre e cromo foram associados a fontes veiculares e industriais. Elementos como Zn, Ba e Sb também podem ser associados a fontes veiculares, sendo que as plantas próximas a avenidas com tráfego pesado apresentaram alta concentração desses metais (NOGUEIRA, 2006).
	<i>Tradescantia sp</i> (coração roxo)	O teste do micronúcleo em <i>Tradescantia</i> (Trad-MCN) é empregado no monitoramento ambiental de diversos locais, tanto pelas características quanto por sua eficiência na detecção de danos cromossômicos (COPELLI, 2011).

O Quadro apresenta de modo mais sintetizado os bioindicadores. Existe alguns casos particulares como é a espécie *T. Pallida* da família *Commelinaceae* pode indicar o grau de concentração de poluentes oxidantes, através da contagem dos micronúcleos (mutações genéticas) que são separados (“refugados”) pelas células mães de grãos de pólen, caso a planta esteja sob efeitos de poluentes. Ou seja, o número de micronúcleos separados na célula é proporcional à concentração de poluentes.

Trata-se de uma metodologia com padronizações nacionais e internacionais já bastante utilizada principalmente em áreas extensas porque permite um maior número de amostragens com baixo custo operacional, o

que é ideal para avaliação prévia dos pontos mais susceptíveis ou de maior concentração (ZANATO, 2007).

As espécies foram usadas individualmente ou em grupo, comparando-se as mais eficazes. Os poluentes atmosféricos mais estudados foram: nitrogenados, enxofre, metais pesados, ozônio, flúor e poeira de cimento, sendo originárias de indústrias e de origem veicular, principalmente. Os estudos abrangeram diversas regiões do país, com destaque para a região do município de Cubatão – SP, reconhecida pelos altos índices de poluição.

Observou-se tanto os métodos de biomonitoramento passivo quanto o ativo. O passivo pode ser utilizado como meio para

conhecer novas espécies que podem ser utilizadas como potenciais bioindicadores. Dessa maneira, os custos são reduzidos, pois as plantas geralmente são da própria região estudada. Já o monitoramento ativo utiliza espécies já mencionadas na literatura como modo de detectar os possíveis poluentes. O período de exposição variou entre algumas horas a alguns meses. Os vegetais absorvem os gases da atmosfera através dos estômatos durante os processos de respiração e fotossíntese, sendo que gases poluentes também são absorvidos, causando alterações no meio foliar. Os óxidos de nitrogênio (NO, NO₂), óxidos de enxofre (SO, SO₂, SO₃) e ozônio (O₃), dentre outros, provocam danos em determinadas espécies arbóreas como alteração no crescimento, no metabolismo e injúria nas folhagens.

A poluição do ar pode provocar alterações fisiológicas, bioquímicas, anatômicas e comportamentais que podem ser associadas à presença de poluentes atmosféricos. Respostas bioquímicas vegetais fora do padrão natural podem auxiliar na avaliação da qualidade do ar de determinadas regiões (MAIOLI, 2008).

Algumas dessas alterações foram utilizadas como parâmetros analisados por este trabalho, como a concentração de poluentes nas amostras, apresentado nas plantas bioacumuladoras (*Sphagnum recurvum*, por exemplo), efeitos bioquímicos, como alterações no número de micronúcleos (*T. pallida*), injúrias como no caso das bioindicadoras (*N. tabacum*, por exemplo) e variações populacionais como no caso de alguns *líquens*. O uso de plantas bioacumuladoras predominou, o que pode indicar um esforço de além de detectar a presença de poluentes, também quantificá-los e absorvê-los da atmosfera.

Analisaram-se diversas partes das plantas como: as cascas de árvores, folhas e inflorescências. O uso de cascas de árvores apontou para a absorção de poluentes, o que pode indicar um método eficaz de retirada dos poluentes da atmosfera. Metodologias como abortamento polínico e acumulação em folhas podem caracterizar gradientes de concentração

o que associado a técnicas de geoprocessamento, pode gerar bons programas de biomonitoramento.

Observou-se também que algumas espécies são economicamente importantes como o caso da *N. tabacum*, utilizado na produção do cigarro e *P. vulgaris* e *M. indica*, utilizados na indústria alimentícia. Esse fato pode ser mais uma vantagem do uso de bioindicadores, já que além de contribuírem para a melhoria na qualidade do ar, tanto na detecção como na absorção de poluentes, o seu cultivo pode trazer vantagens econômicas.

4. Conclusão

Os bioindicadores são de pouco custo, fáceis de se utilizar e os resultados obtidos demonstraram que há uma grande diversidade de espécies utilizadas como bioindicadores vegetais nos estudos de biomonitoramento, destacando-se a *Tradescantia pallida* e *líquens*.

Pelos estudos dos efeitos dos poluentes levantados, observou-se que são muitas as vantagens de seus aprofundamentos, pois em sua maioria, são ensaios simples e eficazes de se monitorar e controlar a qualidade do ar em espaços urbanos.

A ferramenta bioindicador, associada aos instrumentos usualmente utilizados na quantificação desses poluentes pode possibilitar a verificação de situações de risco, ajudando também na definição de locais de risco.

Torna-se interessante o incentivo a esses estudos, pois são maneiras de recuperação ambiental e ferramentas de educação ambiental e de desenvolvimento sustentável.

São variadas as possibilidades de detecção e biomonitoramento da poluição atmosférica, porém, são necessárias medidas para que haja a diminuição de poluentes no ar em longo prazo, tais como um maior rigor no controle de emissões, melhoria e incentivo ao transporte público e adequação da legislação em relação às concentrações limites estabelecida.

Muitas outras espécies têm potencial bioindicador. Sugerem-se para estudos futuros, que se desenvolvam pesquisas que associem as plantas nativas brasileiras aos poluentes atmosféricos, gerando informações que ajudarão na melhoria da qualidade do ar e, por

consequente, a vida humana.

5. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, Vanusa S. **Alterações nos teores de enxofre e de metabólitos indicadores de estresse em árvores adultas de *Mangifera indica* L. Cv. Espada expostas à poluição Aérea e edáfica, na região do pólo petroquímico de Camaçari/BA.** Dissertação (Mestrado). Univ. Federal da Bahia. Salvador, 2000.
- ALVES, E. S. et al. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*; alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, V. 24, n. 4 (suplemento), São Paulo, dez. 2001.
- ALVES, E.S. et. al. Biomonitoramento indoor do potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbários do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad-MCN. **Hoehnea**, v. 30, n. 2, pp. 89-94, 2003.
- BORDIN, J. **Briófitas.** Trabalho de Estágio Docência. Inst.Botânica. S. Paulo. 2009.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2. ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2005.
- BUJOKAS, Wanessa M. **Bioindicadores vegetais – o uso do feijão como alternativa no monitoramento da qualidade do ar de uma fábrica de cimento.** VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – Unicentro, 2008.
- CARNEIRO, R.M.A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade.** Dissertação (Mestrado). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. 2004.
- CASTRO, L.Z. **Biomonitoramento da qualidade do ar de regiões do Espírito Santo empregando folhas de *Mangifera indica* L.** Dissertação (Mestrado). Centro Universitário Vila Velha. Vila Velha, 2011.
- COPELLI, T. S. **Biomonitoramento da qualidade do ar utilizando ensaio de micronúcleo em *Tradescantia* sp.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2011.
- COSTA, G.M. **Análise da genotoxicidade do ar em dois ambientes - rural e urbano - na Bacia do rio dos Sinos com o uso de *Tradescantia*.** Dissertação (Mestrado). Universidade Feevale. Novo Hamburgo. 2011.
- FAHL, I.A.F. **Caracterização geográfica da dispersão do flúor, através de teores foliares, em espécies vegetais de interesse econômico, a partir do pólo cerâmico de Santa Gertrudes-SP.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Univ. Est. Paulista – UNESP, Rio Claro, 2003, 100p.
- MOTA Filho, Fernando O., et al. Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando *Cladonia verticillaris* (líquen) como biomonitor. **Quim. Nova**, v. 30, n. 5, pp.1072-1076, out. 2007.
- FIALHO, Rodrigo C. O uso de bioindicadores vegetais no monitoramento e controle da poluição atmosférica – A importância dos Bioindicadores. **Informativo técnico publicado pela Associação dos Engenheiros da CETESB – ASEC e pelo Conselho de Representantes dos Funcionários da CETESB – CRF**, para distribuição interna e limitada aos empregados da SMA/CETESB. v. 2. n. 4. Setembro de 2002.
- FREEDMAN, Bill. **Environmental ecology: the ecological effects of pollution, disturbance and other stresses.** 2nd. Academic Press Inc. San Diego. 1995.
- FURLAN, Cláudia M. **Efeitos da poluição aérea de Cubatão sobre o conteúdo de nitrogênio, fibras, ligninas e substâncias fenólicas foliares e atividade herbívora em *Tibouchina pulchra* Cogn.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- GUTBERLET, Jutta. **Uso de *Sphagnum Recurvm* P. Beauv. Como biofiltro no monitoramento de poluição aérea industrial de metais pesados.** **Acta bot. Bras.** 2(1): 103-114 (1989) supl., 1989.
- GONÇALVES, Vanessa F. et al., **Utilização de Líquens como Bioindicadores da Qualidade Atmosférica na Cidade de Uberlândia, MG.** In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, resumo 1185, 23 a 28 de Setembro, Caxambu – MG, 2007.
- HENRIQUES, Ariadne et al. **Detecção de cádmio no ar atmosférico através do biomonitoramento ativo da poluição com *Sphagnum* sp.** XVI Congresso de Iniciação Científica. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. 2007.
- IOVINE, Priscila. **Usando biomonitoramento para avaliar o impacto da poluição atmosférica no entorno de indústrias.** Dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.
- KEMERICH, Pedro D. C. et al. Biomonitoramento e variabilidade espacial do dióxido de enxofre em ar urbano. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science.** Universidade de Taubaté, 2011.
- KLUMPP, Andreas, ANSEL, W., KLUMPP, G., FOMIN, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n.4 (suplemento), p. 511-518, dez. 2001.
- LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina A. **Metodologia do trabalho científico.** 7.ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- LUIZ, Eriane J. et al. **Biomonitoramento da Qualidade do ar em Santo André: “Sentindo a Cidade: Biomonitoramento da Qualidade do Ar de Santo André com plantas da espécie *Tradescantia pallida* e a Educação Ambiental”.** Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André. 2005.
- MAIOLI, Otávio L. G. et al. Parâmetros bioquímicos foliares das espécies *Licania tomentosa* (benth.) e *Bauhinia forficata* (link.) para avaliação da qualidade do ar. **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 8, 1925-1932, 2008.
- MORAES, Regina Maria, PINA, Juliana M. **Respostas induzidas pelo ozônio em *Psidium Guajava Paluma*.** Anais do VIII Cong. Ecol. Brasil. Caxambu – MG. 2007.
- MOREIRA, T.C.L., **Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo.** Dissertação (Mestrado). Univ. de São Paulo. Piracicaba. 2010.
- MOURA, James M., FERNANDES, Alan L., SILVA,

- Jordania C. **Utilização de líquens como bioindicadores de poluição atmosférica na cidade de Cuiabá – MT.** III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia/GO. 2012.
- NAKAZATO, Ricardo K., RINALDI, Miriam C., DOMINGOS, Marisa. **Análise comparativa do potencial bioacumulador de três espécies vegetais para biomonitoramento de poluentes nitrogenados na região de Cubatão – SP.** 18ª Reunião Anual do Instituto de Botânica. São Paulo. 2011
- NOGUEIRA, Cláudio A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor.** Tese de Doutorado. Inst. de Pesq. Energ. e Nucleares. S. Paulo. 2006.
- ONU-BR. **Consequências da poluição do ar são piores do que estimativas anteriores, alerta OMS.** Website das Nações Unidas no Brasil, publicado em: 09 abr. 2013 e disponível em: <http://www.onu.org.br/consequencias-da-poluicao-do-ar-sao-piores-do-que-estimativas-antteriores-alerta-oms/>. Acesso em: 19 ago. 2013.
- PAULA, Manoel T. et al. Influência do flúor sobre parâmetros químicos e bioquímicos de folhas de muruci (*Byrsonima crassifolia* [L.] Rich.). **Rev. Ciênc. Agrár.**, Belém, n.43, 2005, p.137-148.
- PEDROSO, Andrea N.V. **Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras.** Instituto de Botânica – IBt. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. S. Paulo, 2007.
- PEDROSO, Andrea N.V., ALVES, Edenise S. Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. **Acta bot. Bras.** v. 22, n. 1, pp.21-28, 2008.
- PERES, Wagner L., LIRA, Oberdan F.C., COSTA, Karistoin.A.M. **Biomonitoramento com *Tradescantia pallida* em Mato Grosso.** Monografia. Univ. de São Paulo. 2010.
- PIQUÉ, Maria P. R. et al. **Biomonitoramento, instrumento pedagógico a serviço da sustentabilidade urbana.** XXXIII Cong. Bras. Ens.Engenharia. Paraíba. 2005.
- PHILIPPI Jr., Arlindo, ROMÉRO, M.A., BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental.** Barueri: Manole. 2004.
- RODRIGUES. Magali S., RAYA-RODRIGUEZ, M.T.M. Análise de risco ecológico com o uso do bioindic. *L. multiflorum*. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol.**, v. 7, n. 1, pp.9-13, 2012.
- SANTOS, Cleide M. **Biomonitoramento Passivo utilizando casca de Aroeira Vermelha (*Myracrodoun urundeuva*): Estudo de Caso da Região de Fercal – DF.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2012.
- SEVERINO, Antonio J. **Metodologia da pesquisa científica.** 23.ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- SILVA, Rita A. **Cladonia verticillaris (Líquén) como biomonitor padrão da qualidade do ar no Distrito de Jaboatão – PE.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2002.
- SILVA, M.F. **Avaliação da qualidade do ar utilizando espécies arbóreas na cidade de Patos-PB.** Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande. 2011.
- ZANATO, V.T.A.B., MARIANI, R.L., JORGE, M.P.P.M. **Biomonitoramento em Ilhabela e São José dos Campos.** XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Univ. do Vale do Paraíba. 2007.